108

Das Eisenhüttenwesen.

Zweite Abtheilung:

Die Darstellung des Stahls und Schmiedeisens.

Von

Dr. H. Wedding,
Bergrath.

Mit 3 Holzschnitten.

Berlin, 1870.
C. G. Lüderitz'sche Verlagsbuchhandlung.
A. Charisius.

Je höher die Kultur, desto ehrenvoller die Arbeit.
(Roscher.)

Der Centner Eisenmetall im Erze wird gegenwärtig bei uns mit 0,1 Thlr. oder 3 Sgr. bezahlt. Dieselbe Menge Metall im Roheisen kostet bereits zehn Mal so viel, d. h. einen Thaler, als Gußwaare 3 Thaler, in der Form des Stabeisens 3,3 Thlr., in der des Bleches 3,7 und in der des Drathes 4 Thlr.; als Gußstahl bezahlt man sie mit 9 Thlr. Ausgeschmiedet zu Messerklingen erlangt das Eisen einen Werth von 5—700 Thlr., in Gestalt feinster Uhrfedern einen solchen von beinahe 2 Millionen Thlr. pro Centner. Kaum berechenbar erhöht sich jeder dieser Werthe durch Zusammenfügung einzelner Eisentheile unter sich oder mit Theilen aus anderen Stoffen zu den verschiedenen Gegenständen des Gebrauches, namentlich aber zu Maschinen. Obschon kein Metall im Erze so billig ist, wie das Eisen, so erreicht doch anderseits kein einziges im verarbeiteten Zustande, ohne doch bereits Theil eines Gebrauchsgegenstandes geworden zu sein, einen so hohen Werth, wie ihn das Eisen z. B. in der einfachen Uhrfeder hat, ehe dieselbe noch in ein Uhrwerk eingefügt worden ist. Das Gold, von dem der Centner 48000 Thlr. als Münze kostet, hat einen fast eben so hohen Werth als roher vom Goldgräber gefundener Klumpen. Selbst das Silber, welches meist mannigfacher und verwickelter Arbeiten zur Gewinnung aus seinen Erzen bedarf, kauft man in letzteren gemeiniglich zu nicht viel geringeren Preisen, als im reinen Zustande.

Es folgt hieraus, daß bei keinem Metalle die Arbeit besser bezahlt wird als beim Eisen. Forscht man nach dem Grunde, so findet man ihn zwar eines Theils darin, daß zur Gewinnung und Verarbeitung keines anderen Metalles ein so hoher Aufwand von mechanischen Mitteln und Verbrauch von Materialien statt findet wie für das Eisen, andrentheils muß man die Ursache aber darin suchen, daß keine hüttenmännische Arbeit einen so hohen Grad von Intelligenz wie die Eisenerzeugung erfordert. Deßhalb hat sich aber auch die Gewinnung und Verarbeitung des Eisens auf die gegenwärtige Stufe erst erheben können nachdem man nicht nur aufgehört hatte, die Arbeit als etwas nur Sclaven Zukommendes, Entehrendes anzusehen, sondern erkennen gelernt hatte, daß nur die auf Bildung gegründete Arbeit wahren Nutzen schaffe und daß Arbeit erst dem Menschenleben seinen Werth gebe.

Der erste Abschnitt dieses Aufsatzes im 93. Hefte der IV. Serie unserer Sammlung gab bereits ein Bild von den zahlreichen Operationen, Vorrichtungen und Hülfsmitteln, welche zur Abscheidung des Eisens aus seinen Erzen in Form von Roheisen nothwendig waren, der vorliegende Abschnitt soll dieses Bild vervollständigen durch die Beschreibung der noch mannigfaltigeren Arbeiten und Apparate, welche nöthig sind, um Stahl und Schmiedeisen in einer für den Handel brauchbaren Form herzustellen.

In alten Zeiten erzeugte man allen Stahl und alles Schmiedeisen d i r e k t aus den E i s e n e r z e n, indem man dieselben in Heerden oder in Oefen geringer Höhe soweit erhitzte, daß zwar die Reduktion der Eisenoxyde zu metallischem Eisen und eine geringe Kohlenstoffaufnahme erfolgen konnte, die Temperatur aber nicht zur Bildung von Roheisen, d. h. hochgekohltem Eisen ausreichte. Das Produkt bestand in einzelnen Brokken von teigiger Beschaffenheit, welche sich leicht zu einem

Klumpen zusammenschweißen ließen. Die Gangarten oder erdigen Beimengungen, welche jedes Erz neben dem oxydirten Eisen enthält, ließen sich zwar bei der herrschenden Temperatur an sich allein nicht schmelzen, aber sie vereinigten sich mit einem Theil des noch nicht reduzirten Eisens zu einer leichtflüssigen, eisenreichen Schlacke, welche dazu beitrug bei etwa zu hoch steigender Temperatur die Bildung von Roheisen zu verhindern, indem sie entkohlenden Einfluß ausübte. Diese Methode der Stahl- und Schmiedeisen-Erzeugung auf unmittelbarem Wege nennt man Rennarbeit.[1]) Sie hat den Vorzug, daß wegen der niedrigen Temperatur, bei welcher sie von statten geht, schädliche Stoffe, namentlich Phosphor, nur in geringem Maße reduzirt werden und in das Eisen gelangen. Aus diesem Grunde hat auch das noch heutigen Tages auf solche Weise erzeugte Material für den indischen Wootzstahl mit Recht einen so hohen Ruf. Dem genannten Vortheil, dem sich noch die Einfachheit der zur Arbeit gebrauchten Apparate (aus Eisenplatten gebildete, mit Holzkohle ausgefütterte, kastenartige Heerde, oder kleine aus Thon oder Backsteinen errichtete Oefen, sammt Blasebalg oder ähnlichen einfachen Gebläsen) zugesellt, stehen indessen so viele Nachtheile gegenüber, daß der Prozeß heutigen Tages nur noch an wenigen Orten ausführbar ist. Erstens wird nämlich ein sehr großer, den für die mittelbare Eisen- und Stahldarstellung aus Roheisen nöthigen, weit überwiegender Aufwand an nur in Holzkohle bestehendem Brennmaterial erfordert, zweitens wird durch die Verschlackung des Eisens ein so großer Eisenverlust herbeigeführt, daß nur ein sehr reicher und von Erdarten beinahe freier Eisenstein benutzbar ist, und drittens ist bei geringer Produktion viel Handarbeit, folglich ein großer Aufwand an Arbeitslohn nöthig. Demgemäß ist auch die Arbeit im Heerde (die katalonische Rennarbeit), welche früher über den größten Theil Europas verbreitet war,

auf einzelne holzreiche Punkte der Pyrenäen zurückgedrängt worden. In Nordamerika bilden die Rennfeuer einen Gürtel an der Gränze der Civilisation, welcher im Rücken von der mittelbaren Eisenerzeugung mit Hochofen und Puddelwerk verdrängt, wie eine Vorpostenkette von Osten nach Westen vorwärts schreitet.

Die Rennarbeit in kleinen Schachtöfen ist noch jetzt im Inneren Afrikas, in Ostindien und am Himalaya in Ausübung, aber aus dem mittleren Europa und Schweden, wo sie bis zum Ende des vorigen Jahrhunderts blühete, ganz verschwunden.

Man hat versucht, diesen scheinbar kürzesten Weg der Schmiedeisen- und Stahlerzeugung mit verbesserten Hülfsmitteln und auf Grundlage der neueren wissenschaftlichen Erfahrungen wieder aufzunehmen, in dem Glauben, daß der Zweck besser durch eine getrennte Reduktion der Erze in geschlossenen, von außen geheizten oder von einem Kohlenoxydgasstrom durchzogenen Gefäßen und eine darauf folgende Schweißung des reduzirten Eisens unter gleichzeitiger Abscheidung der Erden in einem besonderen Ofen erreicht werden könnte, hat aber dadurch die Schwierigkeiten nur erhöht, den Brennmaterialverbrauch und den Eisenverlust vergrößert, ja bei vielen Versuchen Nichts als Schlacke erhalten. — Im Hochofen wird allerdings auch das Eisen zuerst reduzirt, aber es wird in demselben Raume ohne Abkühlung in ein so hochgekohltes Eisen umgewandelt, daß dessen Schmelzpunkt zusammenfällt mit der Bildung einer eisenfreien Schlacke. Während bei der Rennarbeit immer ein teigiges, innig mit den die gesammten Erden der Erze enthaltenden Schlacken gemengtes Produkt erfolgt, trennt sich im Hochofen leicht das flüssige Roheisen von der flüssigen Schlacke. Diese Vortheile des Hochofenbetriebes sind so wesentlich, daß die mittelbare Eisenerzeugung trotz ihres auf den ersten Blick verkehrten Ganges, nach welchem zuerst ein hochgekohltes Eisen erzeugt wird,

dem dann wieder der größte Theil des Kohlenstoffs entzogen werden muß, immer die Oberhand behalten hat und soweit sich bis jetzt übersehen läßt, auch behalten wird. Im Allgemeinen gründet sich daher die Stahl- und Schmiedeisenerzeugung auf die Entkohlung des Roheisens. Je nach dem Grade, bis zu welchem diese Entkohlung geführt wird, kann jede Sorte vom härtesten Stahl bis zum weichsten Schmiedeisen erzielt werden. Oft — und zwar weniger bei der Darstellung des kohlenstoffarmen Schmiedeisens, als bei der des kohlenstoffreicheren Stahls — ist es indessen schwierig, genau den richtigen Punkt des gewünschten Entkohlungsgrades festzuhalten und man verfährt dann so, daß man zuerst eine ganz oder beinahe vollständige Entkohlung des Roheisens herbeiführt und darauf dem entkohlten Eisen die entsprechende Menge Kohlenstoff von Neuem zuführt. Mit der Entkohlung Hand in Hand muß die Entfernung der übrigen im Roheisen enthaltenen, auf die Eigenschaften des Stahls und Schmiedeisens nachtheilig wirkenden Stoffe, namentlich des Siliciums, des Schwefels und des Phosphors gehen.

Das wichtigste zur Entkohlung des Roheisens angewendete Verfahren ist die Frischarbeit. Sie besteht darin, daß das geschmolzene, flüssige Roheisen in innige Berührung mit atmosphärischer Luft gebracht wird. Der Sauerstoff der Luft oxydirt vor Allem das im Roheisen enthaltene Silicium, zugleich aber einen entsprechenden Theil Eisen und es bildet sich eine Schlacke von kieselsaurem Eisenoxydul. Diese wird, nachdem der größte Theil des Siliciums oxydirt ist, immer eisenoxydulreicher, bis die gebildete Kieselsäure ganz gesättigt ist. Von nun an oxydirt der Sauerstoff der Luft weitere Mengen von Eisen zu Oxydoxydul. Diese Substanz, welche wir im gewöhnlichen Leben unter dem Namen des Hammerschlages kennen, löst sich leicht in der gesättigten Schlacke und ist dann im Stande, ener-

gisch auf den Kohlenstoff des Roheisens einzuwirken, indem sie unter Abgabe eines Theils ihres Sauerstoffs jenen zu Kohlenoxyd oder Kohlensäure umwandelt, Gasarten, welche einfach aus dem flüssigen Eisen aufsteigen und entweichen. Der Sauerstoff der atmosphärischen Luft oxydirt also beim Frischprozeß nicht etwa direkt den Kohlenstoff des Roheisens, sondern erst durch Vermittelung der vorher gebildeten Schlacke.

Die Frischarbeit wird nun auf drei verschiedene Weisen ausgeführt, nämlich entweder in kleinen Heerden bei Holzkohlen (Heerdfrischen), in Flammöfen bei Steinkohlenfeuerung (Puddeln) oder in retortenartigen Gefäßen ohne Anwendung eines besonderen Brennmateriales (Bessemern). Bei der ersten Methode läßt man das schmelzende Roheisen tropfenweis durch einen Luftstrom fallen, bei der zweiten rührt man die Luft in das flüssige Eisen ein, bei der dritten läßt man sie von unten durch das Eisenbad aufwärts steigen.

Das Heerdfrischen geschieht in einem aus eisernen Platten (Zacken) gebildeten, kastenartigen Heerde (Feuer), dessen Boden beim Eisenfrischen ebenfalls aus einer eisernen Platte, beim Stahlfrischen dagegen aus einem Sandsteinblock besteht. Das Feuer hat im Inneren eine Breite von 85, eine Länge von 75 Centimetern und ist etwa 30 Centimeter tief. Ueber die eine Oberkante hinweg wird durch eine kupferne Röhre (die Form) der von einem Gebläse gelieferte Windstrom unter einer solchen Neigung eingeführt, daß er bei ungehindertem Fortgange ungefähr auf die diagonal gegenüber liegende Unterkante des Feuers stoßen würde. Der Heerd wird mit Holzkohlen gefüllt, welche angezündet unter der Einwirkung des Windstromes energisch verbrennen. Gleichzeitig wird das in Form von Stücken (Gänzen[2]) benutzte Roheisen über die der Windform entgegengesetzte Oberkante des Feuers vorgeschoben und schmilzt allmälig

tropfenweis ab, eine Operation, welche das Gänze- oder Roheisenschmelzen genannt wird. Jeder Tropfen passirt nun den Windstrom und wird von diesem in der vorhin geschilderten Weise oxydirt. Aber die Oxydation ist in der kurzen Zeit, in welcher der Eisentropfen auf den Boden des Feuers gelangt, keine vollständige. Das sich auf dem Boden sammelnde Eisen ist nur von dem Schlacke bildenden Silicium befreit worden, der Kohlenstoffgehalt ist noch nicht vermindert. Man hebt daher das niedergeschmolzene Eisen, nachdem es durch Abkühlung hinreichend konsistent geworden und in einige Stücke zerbrochen ist (das Durchbrechen) wieder auf den mit frischen Holzkohlen gefüllten Heerd und läßt es von Neuem niederschmelzen. Diese zweite Operation heißt das Rohfrischen. Hierbei beginnt nun die eigentliche Entkohlung, aber die Zeit genügt auch jetzt nicht zu ihrer Vollendung. Das niedergeschmolzene Produkt hat den Kohlenstoffgehalt des Stahls. Will man Schmiedeisen erzeugen, so wird das auf dem Boden des Feuers angesammelte Produkt nochmals aufgenommen (aufgebrochen) und von Neuem niedergeschmolzen. Dies heißt das Gaarfrischen. Um hierbei die Entkohlung zu befördern, vermehrt man gewöhnlich künstlich die Eisenoxydoxydulmenge, indem man Hammerschlag, welcher bei der nachfolgenden Bearbeitung des Eisens in reichlichem Maße gewonnen wird, zusetzt.

Während des ganzen Frischprozesses scheidet der Schwefel sich allmälig durch Oxydation zu schwefliger Säure ab und dieser schädliche Stoff wird daher um so vollkommner entfernt, je mehr die Arbeit in die Länge gezogen wird. Mangan oxydirt sich leicht und geht gleich im Anfange mit dem Silicium in die Schlacke, in welcher es die Stelle des Eisenoxyduls vertritt. Phosphor oxydirt sich ebenfalls im Anfange und geht in die Schlacke. Man muß aber behufs seiner Entfernung einen mög-

lichst großen Theil der beim Gänzeschmelzen gebildeten Schlacke aus dem Feuer ablassen, weil sonst bei der später steigenden Temperatur der Phosphor wieder reduzirt und in das Eisen zurückgeführt wird.

Soll nicht Schmiedeisen, sondern Stahl erzeugt werden, so ist das zwar einfach dadurch zu erreichen, daß die Arbeit bereits nach dem Rohfrischen unterbrochen wird; da aber zur Abscheidung schädlicher Substanzen, namentlich des Schwefels, wie erwähnt eine gewisse Zeit gehört, so ist es nöthig, entweder von vornherein ein sehr reines Roheisen anzuwenden, oder aber die Zeit der Entkohlung zu verlängern. Das letztere geschieht am leichtesten durch Bildung einer manganreichen Schlacke. Das kieselsaure Manganoxydul ist nämlich kein Lösungsmittel für das Eisenoxydoxydul. Je mehr davon also die Schlacke enthält, um so weniger Eisenoxydoxydul nimmt sie auf und um so langsamer geht die Entkohlung vor sich.

Ist das Eisen arm an Silicium, so bedarf es der ersten Periode nicht und es kann sofort mit dem Rohfrischen begonnen werden. Unter diesen und ähnlichen Verhältnissen entstehen mehrfache Modificationen der Frischarbeit, welche man mit den bezeichnenden Namen: Einmal-, Zweimal-, Dreimalschmelzerei belegt. Aber auch unter diesen Hauptarten hat die besondere Eigenthümlichkeit des verwendeten Roheisens, die Gewohnheit und Geschicklichkeit der Arbeiter vielfache Variationen hervorgerufen, die schließlich freilich alle zu demselben Ziele führen. Eine der wichtigsten Abarten wird dadurch herbeigeführt, daß man das graue siliciumreiche Roheisen durch eine vom übrigen Frischprozesse getrennte Operation von seinem Silicium befreit und es dadurch gleichzeitig in weißes Roheisen[3]) umwandelt, weil der Graphit dann in chemisch gebundenen Kohlenstoff übergeht, ein Vorgang, der ziemlich genau den Veränderungen entspricht, welche das Roheisen

beim Gänzeschmelzen im Frischfeuer selbst erleidet, obwohl sich dort derselbe mehr der Beobachtung entzieht.

Man nennt diesen Prozeß, wenn er in besonderen Feuern ausgeführt wird, Hartzerrennen oder Feinen; wenn er im Hochofen geschieht, Läutern. Im letztren Falle richtet man die in den Hochofen eindringenden Windströme einfach nach unten auf das angesammelte flüssige Roheisen.

Andere Abarten des Heerdfrischprozesses ergeben sich dadurch, daß das niedertropfende Eisen zum Theil an kalten ins Feuer gesteckten Stäben aufgefangen wird (Anlaufnehmen), daß man die Entkohlung durch größere Zertheilung des einmal niedergeschmolzenen Eisens oder durch Einrühren großer Mengen Hammerschlag oder Zuthat von Stücken weichen Schmiedeisens unterstützt, daß man das Roheisen in kleinen Mengen (Heißen) und längeren Zwischenräumen einschmilzt u. dgl. m. Alle diese Modificationen führen lokale, oft höchst närrische Namen, wie Judenfrischen, Müglaschmiede, Schwallarbeit, Kartitschschmiede u. s. w.

Das Heerdfrischen erfordert als Brennmaterial durchaus Holzkohlen. Es hat sich daher mit dem Theurerwerden derselben mehr und mehr durch das Flammofenfrischen, welches unter Anwendung von Steinkohlen ausgeführt werden kann, verdrängen und auf solche Gegenden beschränken lassen, in welchen noch großer Holzreichthum herrscht. Das Flammofenfrischen erlaubt zudem aus einem unreinen Roheisen noch ein brauchbareres Produkt zu erzeugen, als das Heerdfrischen, obwohl freilich aus einem guten Roheisen sich niemals ein so vorzügliches Produkt durch jenes wie durch dieses herstellen läßt. Daher kommt es denn auch, daß das Heerdfrischen sich selbst in holzarmen, steinkohlenreichen Gegenden, wie z. B. in Süd-Wales[4]), für besondere Zwecke, z. B. zur Darstellung feinsten Weißbleches, schwächsten Drahtes u. s. w. erhalten kann.

Der bei Weitem größte Theil alles Schmiedeisens und Stahls wird indessen gegenwärtig durch den Flammofenfrisch= oder Puddelprozeß dargestellt. Der Ofen, in dem dies geschieht, ist in den untenstehenden drei Holzschnitten dargestellt. [5])

Fig. 1.

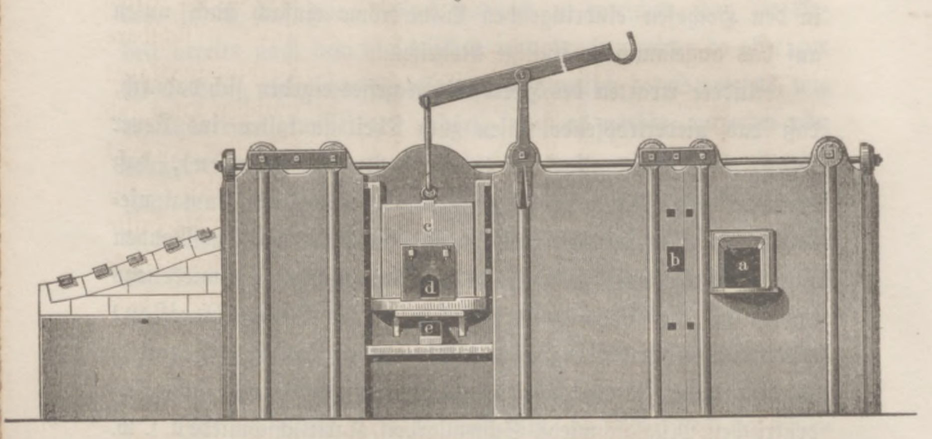
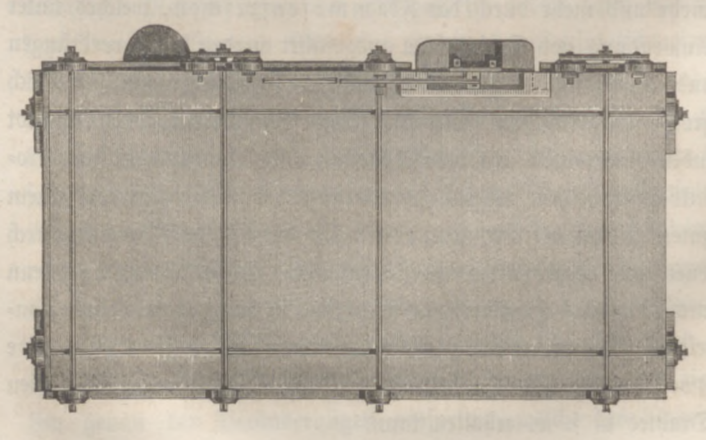
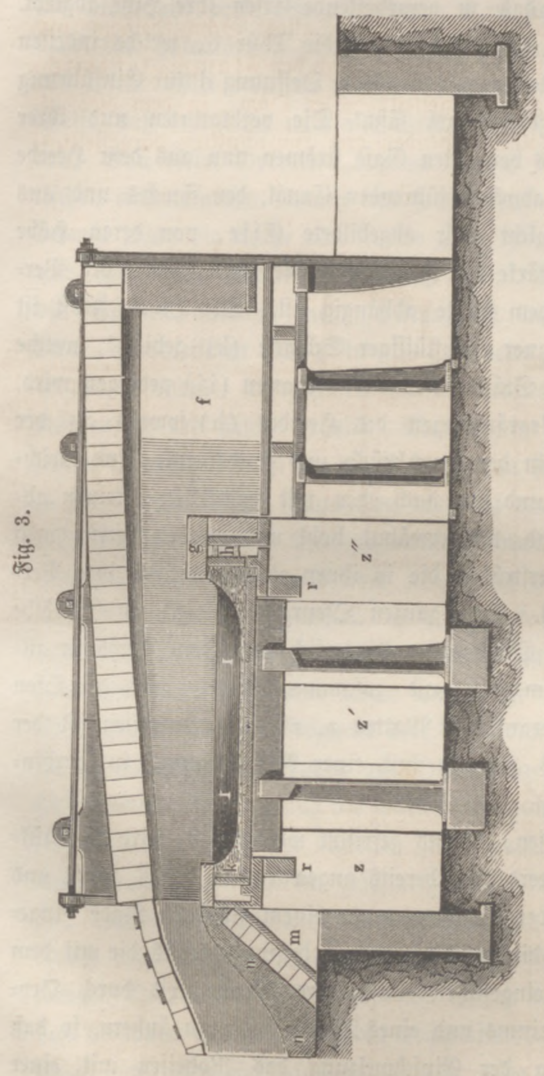


Fig. 2.




Fig. 3.

Die erste Figur zeigt eine Ansicht von vorn, die zweite eine Ansicht von oben, bei welcher der in der ersten Figur sichtbare Verbindungskanal zwischen Ofen und Esse (der Fuchs) fortgelassen ist, während die dritte Figur einen Längsdurchschnitt darstellt, welcher entsteht, wenn man sich die vordere Hälfte des Ofens fortgenommen denkt. Die Steinkohle, welche als Brennmaterial dient, wird durch die Oeffnung a auf den Rost f geschüttet und verbrennt in Berührung mit der von unten zwischen den Roststäben hindurchtretenden atmosphärischen Luft. Die Flamme schlägt über die Feuerbrücke g, welche hohl ist, auf den Heerd

ll, wo sie an das zu verarbeitende Eisen ihre Hitze abgiebt. Dieser Heerd ist zugänglich durch die Thür c, welche indessen gewöhnlich verschlossen nur die kleine Oeffnung d zur Einführung des Arbeitswerkzeuges frei läßt. Die verbrannten und ihrer Hitze großentheils beraubten Gase strömen nun aus dem Heerde in einen schräg abwärts führenden Canal, den Fuchs und aus diesem in die nicht mehr abgebildete Esse, von deren Höhe wesentlich die Stärke des Zuges und die Lebhaftigkeit der Verbrennung auf dem Roste abhängig ist. Der Heerd selbst ist aus festgeschmolzner, zähflüssiger Schlacke (k) gebildet, welche von eisernen auf Ständern ruhenden Platten (ii) getragen wird. Die seitlichen Begränzungen des Heerdes (h) sowohl an der Rückwand, wie in der Feuerbrücke und Fuchsbrücke, sind gleichfalls aus Eisen und nur nach oben mit feuerfesten Steinen abgedeckt. Sie sind, wie erwähnt hohl und werden meist durch Luft- oder Wasserströme, die in ihnen circuliren, vor dem Verbrennen geschützt. Den ganzen Ofenraum bedeckt ein Gewölbe aus feuerfesten Steinen, welches sich nach dem Fuchs zu allmälig senkt. Umgeben und zusammengehalten wird der Ofen von eisernen verankerten Platten z, z', z". Zuweilen ist der tiefste Punkt des Heerdes mit einer Abflußrinne e in Verbindung gebracht.

Das Roheisen, welches gefrischt werden soll, wird in Stükken auf den Heerd des bereits angewärmten Ofens gelegt und nun bei steigender Temperatur zu einem flüssigen Bade eingeschmolzen. Bei diesem Einschmelzen beginnt bereits die mit dem Flammenstrom eingeführte Luft ihre Wirksamkeit durch Oxydation des Siliciums und eines Theils Eisen zu äußern, so daß nach Vollendung der Einschmelzung das Roheisen mit einer flüssigen Schlackendecke versehen ist, welche eine weitere Einwirkung der Luft auf das Eisen verhindert. Jetzt öffnet man

die bis dahin verschlossene Oeffnung d in der Arbeitsthür und führt eine hakenförmig gebogene eiserne Stange (die Kratze) in den Ofen. Mit derselben durchfurcht man das Eisenbad in der Weise, daß der Reihe nach alle Stellen des Ofens berührt werden. Von dieser Operation hat der Prozeß den aus dem Englischen entnommenen Namen des Puddelns (Puddling). Jedesmal wenn die Kratze eine Furche zieht, dringt die Luft hinein und setzt ihren oxydirenden Einfluß fort. So kommt es, daß die Schlacke allmälig mehr Eisenoxydul aufnimmt und wie beim Heerdfrischen endlich in ein geeignetes Lösungsmittel für Eisenoxydoxydul übergeführt wird, welches seinerseits den Kohlenstoff des Eisens oxydirt. Man erkennt das Eintreten des letzten Vorganges leicht an der Bildung van Kohlenoxyd, welches in Form von blauen Flämmchen aus den von der Kratze gebildeten Furchen brennt. Die gegenseitige Einwirkung der Schlacke und des Kohlenstoffs wird bald sehr heftig und das Ganze geräth in ein starkes Schäumen. Die Schlacke steigt so hoch auf, daß sie theils über die Fuchsbrücke fort bis zum Boden der Esse und von dort durch eine kleine Oeffnung auf die Hüttensohle läuft, theils über die Schwelle der Arbeitsthür herausfließt, wo sie in einem kleinen Wagen aus Blech aufgefangen wird. Bei fortschreitender Entkohlung des Eisens läßt auch das Aufschäumen (Kochen) nach und der Arbeiter fühlt deutlich den Widerstand, welchen die nicht mehr im geschmolzenen, sondern nur im teigigen Zustande befindlichen kohlenstoffarmen Eisentheilchen der Kratze entgegensetzen. Diese Theilchen schweißen nun bei gegenseitiger Berührung an einander und stehen bald, blumenkohlartige Gruppen bildend, mit ihren weißglühenden Spitzen aus dem röther gefärbten Schlackenbade hervor. Da jetzt die Luft das Eisen ohne Weiteres selbst trifft, so schreitet in Folge reichlicher Bildung von Oxydoxydul die Entkohlung schnell voran und,

während der Arbeiter es mit einer spitzen Brechstange (dem Spitz) zu Kugeln ballt, wird es bald in den Zustand des Schmiedeisens übergeführt. Durch Hin- und Herrollen und Drücken der gebildeten Bälle (der Luppen), denen man gewöhnlich ein Gewicht von circa 1 Ctr. giebt, wird die Schlacke möglichst herausgequetscht und eine gleichartige Beschaffenheit aller Theile erzielt.

Soll nicht Schmiedeisen, sondern Stahl dargestellt werden, so muß die Entkohlung früher unterbrochen werden, ohne daß doch die Arbeit kürzere Zeit dauern darf, weil sonst die schädlichen Stoffe, namentlich der Schwefel und Phosphor — nicht hinreichend entfernt werden würden. Um dies zu erreichen, wendet man ein (übrigens möglichst reines) manganhaltiges Roheisen an, vertieft den Heerd, so daß der größte Theil der Schlacke im Ofen bleibt und arbeitet mit einer rußenden, also wenig oxydirenden Flamme. Die an sich schon schwächer entkohlend wirkende [6]) manganhaltige Schlacke bedeckt nun in reichlichem Maße das eingeschmolzene Roheisen und es hängt lediglich vom Willen des Arbeiters ab, wie viel Luft an das Eisen zur Oxydoxydulbildung gelangen, wie schnell also die Entkohlung vor sich gehen soll. Der gebildete Stahl wird dann auch ohne daß er an die Oberfläche kommt, so viel als möglich unterhalb der Schlacke zusammengeschweißt und in Kugelform geballt.

Obwohl die chemischen Vorgänge ganz ähnlich wie beim Heerdfrischen sind, so zeigt sich doch ein wesentlicher Unterschied hinsichtlich des Phosphors. Derselbe geht zwar auch hier, zu Phosphorsäure oxydirt, in die Schlacke, aber er wird daraus nicht wieder in dem Maße reduzirt, wie beim Heerdfrischen, hauptsächlich weil die Temperatur beim Puddeln nicht so hoch steigt. Daher läßt sich auch durch fortgesetzte Arbeit, umgekehrt wie beim Heerdfrischen, der Phosphor immer mehr entfernen und das ist

der wesentlichste Grund, aus welchem zum Puddeln ein schlechteres Roheisen anwendbar ist, als zum Heerdfrischen.

Auch für den Puddelprozeß bereitet man das Roheisen, wenn es grau ist, meist durch einen getrennten Prozeß vor, durch welchen man den größten Theil des Siliciums entfernend es in den weißen Zustand überführt. Man schmilzt es zu diesem Zwecke gewöhnlich in einem von eisernen Platten gebildeten Heerde, dem Feinfeuer oder Raffinirheerde, in welchen von zwei Seiten je drei oder vier Windströme eindringen, bei Koks ein, nimmt aber auch zuweilen den Prozeß in einem mit Kohlenoxydgas geheizten Flammofen (dem Feinofen) vor. Es kommt wesentlich darauf an, den Prozeß nur so lange fortzusetzen, daß Silicium allein oxydirt, aber kein Kohlenstoff entfernt werde. Das gefeinte Eisen läßt man in eiserne Formen ab, in denen man seine Abkühlung durch Wasser befördert. [7])

Den Sauerstoff der Luft ersetzt man zum Theil durch andere sauerstoffabgebende Körper. Schon seit langer Zeit pflegt man zu diesem Zwecke wie beim Heerdfrischen Hammerschlag und Walzsinter, die eisenoxydoxydulreichen Abfälle von der Weiterverarbeitung des Eisens anzuwenden, setzt auch wohl die Ofenwände mit Eisenoxyd in Form von Rotheisenstein aus. Neuerdings hat man nicht ohne Erfolg versucht, Salpeter in den Ofen zu bringen, dessen allzuheftige Wirkung man dadurch abschwächt, daß man ihn in durchlöcherte Blechbüchsen verschließt. Die Anwendbarkeit dieses und ähnlicher Mittel wird stets in erster Linie durch die Frage der Oekonomie entschieden werden müssen. In zweiter Linie ist indessen dabei zu beachten, daß je höher man die Temperatur durch kräftige Oxydationsmittel steigert, um so schneller zwar die Entkohlung vor sich geht, aber auch um so weniger Zeit zur Abscheidung des Schwefels bleibt und daß um so leichter der bei niedriger Temperatur in Phosphorsäure umge-

wandelte Phosphor wieder reduzirt und in's Eisen zurückgeführt wird. — Beim Stahlpuddeln bringt man sehr oft Stahlpulver in Anwendung, von denen eine große Zahl, zu den sogenannten Geheimmitteln gehörig, zu theuren Preisen verkauft wird, ohne auch nur im Geringsten zu nützen. Die wirksamen Theile aller dieser Pulver bestehen in der Regel in Mangan und Alkalien, welche beide eine leichtflüssige, ersteres auch eine die Entkohlung verzögernde Schlacke, bilden, dadurch das Roheisen vor zu schneller Einwirkung der Luft schützen und so allerdings die Darstellung von Stahl erleichtern. [8a])

Die aus dem Frischfeuer oder dem Puddelofen ausgebrachten Klumpen oder Bälle von Schmiedeisen oder Stahl, welche man Luppen, Deule, beim Stahl auch wohl Schreie nennt, werden noch ganz heiß zuerst unter schweren, durch Wasser- oder Dampfkraft bewegten Hämmern oder in Quetschwerken zusammengepreßt, dadurch von den noch eingeschlossenen Schlacken größtentheils befreit und zugleich in eine prismatische Form gebracht, welche es ermöglicht sie durch ferneres Hämmern oder durch Auswalzen in eine für die Weiterverarbeitung geeignete Gestalt überzuführen. Diese Arbeit nennt man das Zängen und das daraus hervorgehende Eisen heißt Schirbel, Kolben oder Bramme, oder wenn es bereits Stabform erhalten hat, Rohstab oder Luppenstab.

Während bei den beiden geschilderten Frischprozessen das Produkt nicht als flüssige, sondern als teigige, mit Schlacke mehr oder minder gemengte Masse erhalten wird, liefert die dritte Frischmethode, das nach seinem Erfinder genannte Bessemern, ein flüssiges Produkt.

Zu diesem, anfangs allgemein und heutigen Tages nur noch in Schweden in niedrigen feststehenden Oefen ausgeführten Prozesse, wird jetzt meistentheils ein Gefäß angewendet,

welches an zwei horizontalen Zapfen aufgehangen und um diese drehbar ist. Das Gefäß hat im Inneren fast genau die Form einer natürlichen Birne [8b]), deren dünnerer Theil (der Hals) etwas schräg gewachsen und kurz über dem Stiele abgeschnitten ist, und führt deßhalb auch den Namen Frischbirne. Es ist aus Kesselblech hergestellt, mit einem starken Futter von quarzreichem feuerfesten Thone versehen und außen in der Mitte mit einem kräftigen eisernen Reif umgeben, an welchem die in Lagern ruhenden Zapfen befestigt sind. Während der Arbeit hängt die Birne aufrecht, d. h. mit dem Halse, welcher unter die Mündung eines in eine Esse führenden Rauchmantels ragt, nach oben. Einer der Zapfen ist hohl und dient zur Zuleitung des von einer Gebläsemaschine gelieferten stark gepreßten Windes [9]), welcher von dort vermittelst eines abwärts gehenden Rohres in einen unter dem Boden der Birne befindlichen, mit dieser verschraubten Sammelkasten geführt wird. Von hier gelangt der Wind schließlich durch den mit zahlreichen (meist 49 oder 84) Oeffnungen versehenen Boden in Form feiner Strahlen in das Innere des Gefäßes und durchdringt das dort befindliche flüssige Roheisen. Das Roheisen nämlich, welches gefrischt werden soll, wird in einem Flammofen geschmolzen, seltner direkt im flüssigen Zustande aus einem Hochofen entnommen, und dann durch den Hals der um etwas mehr als 90 Grad gedreheten Birne derart eingelassen, daß seine Oberfläche nicht die am Boden befindlichen Windeinströmungsöffnungen erreicht. Nachdem das geschehen, wird gleichzeitig mit dem Aufrichten der Birne der Wind angelassen und derselbe hält nunmehr das flüssige Metall vom Eindringen in jene Oeffnungen ab. Die feinen Luftstrahlen oxydiren ganz wie bei den anderen Frischprozessen zuerst das Silicium und den entsprechenden Theil Eisen, bis eine Verbindung gebildet ist, welche Oxydoxydul löst und dadurch entkohlend auf das Eisen einwirkt. Da indessen

hier die Oxydation ungemein energisch verläuft, so braucht sie nur kurze Zeit zu ihrer Vollendung und während 100 Ctr. Roheisen zur Entkohlung im Frischfeuer etwa 1½ Wochen, im Puddelofen 1½ Tage verlangen, sind sie in der Birne binnen 20 Minuten[10]) entkohlt. Bei dieser lebhaften und schnellen Oxydation wird hinreichende Wärme entwickelt, um nicht nur ohne fremdes Brennmaterial den Prozeß zu Ende führen zu können, sondern auch als Endprodukt ein flüssiges Schmiedeisen oder einen flüssigen Stahl zu erhalten. Es kann nicht auffallen, daß bei der Kürze der Zeit und der Höhe der Temperatur eine Abscheidung des Schwefels nur wenig, eine Abscheidung des Phosphors, welcher in dem angewendeten Roheisen enthalten war, gar nicht erfolgt und daß daher für den Bessemerprozeß nur ein von jenen Stoffen hinreichend freies Material tauglich ist. Uebrigens aber wird es ähnlich, wie bei den anderen Frischprozessen, von der Zeit abhängen, wie weit die Entkohlung getrieben, d. h. ob Stahl, Schmiedeisen oder ein Zwischenprodukt erhalten werden soll. Da indessen die ganze Zeit, welche dazu gehört das Eisen vollkommen frei von Kohlenstoff zu machen, sich nur nach Minuten berechnet, so hält es sehr schwer, die richtige Gränze für eine nicht vollständige Entkohlung in der Praxis einzuhalten und man zieht es daher vor, das Eisen zuerst ganz zu entkohlen und ihm dann durch einen zweiten Prozeß wieder so viel Kohlenstoff zuzufügen, als man im Produkte verlangt. Diesen Kohlenstoff führt man nun in der Weise zu, daß man eine abgewogene Menge Roheisen von bekanntem Kohlenstoffgehalt schmilzt und mit dem in der Birne enthaltenen entkohlten Eisen mischt.

Die Darstellung eines Stahls, welchen man mit dem Namen Flußstahl[11]) belegt, durch Zusammenschmelzung eines niedrig gekohlten Eisens d. h. Schmiedeisens mit hochgekohltem Eisen d. h. Roheisen, ist schon seit Anfang des vorigen Jahrhunderts

bekannt, aber die längste Zeit hindurch nur im kleinen Maßstabe durch Schmelzung von Stabeisenstücken und Roheisenbrocken in Tiegeln mit einem Fassungsraum von wenigen Pfunden ausgeführt worden. Erst durch den Bessemerprozeß ist diese Methode zu allgemeiner und großartiger Anwendung gelangt. Es wird hierbei in der Praxis folgendermaßen verfahren: Nach vollständiger Entkohlung des ursprünglich eingesetzten Eisens kippt man die Birne und läßt das flüssige Zusatz-Roheisen durch den Hals einfließen. Dasselbe mischt sich sofort mit dem in der Birne enthaltenen Produkte zu einer gleichartigen Masse. Die in dem zugesetzten Roheisen enthaltenen Verunreinigungen gehen natürlich größtentheils in das Endprodukt über. Es muß daher auf ein möglichst reines Roheisen gesehen werden. Kein Eisen eignet sich hierzu so gut, wie das Spiegeleisen[1 2]), welches daher auch zu diesem Zwecke von seinen Erzeugungsorten (z. B. dem Siegerlande) weithin versendet wird.

Der Bessemerflußstahl ist das auf die beschriebene Weise erhaltene Produkt, welches unter dem abgekürzten Namen Bessemerstahl wegen seiner Billigkeit im Gegensatz zu anderen Stahlsorten, wegen seiner Freiheit von Schlacken und seiner Festigkeit immer weitere und allgemeinere Verbreitung zur Darstellung selbst solcher Gegenstände findet, die bisher nur aus Schmiedeisen erzeugt wurden.

Der durch den Bessemerprozeß bewiesene Erfolg der Darstellung von Flußstahl führte bald auf den Wunsch, die auf den Hüttenwerken in reichlichem Maße erzeugten Abfälle und die im Handel in großer Menge unter dem Namen Alteisen vorkommenden Schmiedeisenstücke ähnlich und in größerem Maßstabe verwerthen zu können, als dies in Tiegeln möglich war. Man richtete daher seine Aufmerksamkeit auf den Flammofen. Aber alle Versuche Flußstahl direkt auf dem Heerde eines Flamm-

ofens darzustellen, blieben lange Zeit erfolglos, weil es weder gelingen wollte, die nöthige Temperatur zur Schmelzung zu erzeugen, noch die Schmelzung selbst so zu beschleunigen, daß während derselben nicht ein zu großer Theil des Eisens oxydirt und verschlackt wurde. Erst durch Anwendung der sogenannten Regeneratorfeuerung glückte es, eine beständig hohe Temperatur zu erzielen und dabei durch einen scheinbar sehr einfachen Kunstgriff die Schmelzung des Schmiedeisens fast plötzlich herbeizuführen. Dieser Kunstgriff besteht darin, daß man nicht gleichzeitig Roh- und Schmiedeisen schmilzt, sondern zuerst ein Bad von Roheisen erzeugt, in dieses das Schmiedeisen eintaucht und so letzteres bei der Schmelzung vor Oxydation ganz schützt. Die Anwendung der Regeneratoren, welche von Jahr zu Jahr mehr an Bedeutung gewinnen, beruht auf folgenden Grundsätzen: Bei der gewöhnlichen Einrichtung eines Flammofens wird die Heizkohle sofort möglichst vollständig verbrannt. Die Flamme giebt im Heerde des Ofens so viel Wärme als erforderlich an das zu erhitzende Material ab und geht dann als ein Gasstrom von meist noch sehr hoher Temperatur zur Esse. Nun benutzt man zwar diese Hitze des fortgehenden Gasstromes, die Ueberhitze, schon lange zu anderen Zwecken, namentlich zur Erhitzung von Dampfkesseln, jedoch ist das niemals ein so rationelles Verfahren, als wenn man die Hitze für den Zweck ganz aufbraucht, für den sie bestimmt ist. Dies gelingt nur dann, wenn man zuerst statt einer gewöhnlichen Feuerung mit vollständiger Verbrennung eine Kohlenoxydgasfeuerung einrichtet. Man häuft zu diesem Zwecke eine starke Schicht Kohlen an. Der zutretende Luftstrom verbrennt zwar die auf dem Roste liegenden Kohlen vollständig; die hierbei erzeugte Kohlensäure aber nimmt bei ihrem Aufsteigen zwischen den darüber liegenden Kohlen Kohlenstoff auf und verwandelt sich in Kohlenoxydgas. Das letztere

kann man nun fortleiten und unter Zuführung eines zweiten Stroms atmosphärischer Luft an jeder beliebigen Stelle, wo man eben eine hohe Temperatur erzeugen will, verbrennen und zwar mit um so größerem Erfolge, wenn Luft und Gas vorher möglichst heiß gemacht worden waren. Für den vorliegenden Zweck verbrennt man das Kohlenoxyd bei seinem Eintritt in den Schmelzofen. Die abziehende, noch heiße Flamme aber läßt man nicht direkt zur Esse gehen, sondern leitet sie zuvor durch zwei nebeneinander liegende Kammern, welche lose mit feuerfesten Steinen ausgesetzt sind und welche Regeneratoren genannt werden. An diese Steine giebt die Flamme ihre letzte Hitze ab und geht dann ziemlich kühl in die Esse. Allmälig nehmen indessen die Steine selbst sämmtlich die Temperatur der Flamme an, und dann wird letztre nicht mehr abgekühlt. Ist dieser Zeitpunkt eingetreten, so dreht man durch Stellung zweier Ventile den Zug um und läßt das Kohlenoxydgas und die Verbrennungsluft, jedes für sich durch eine der erhitzten Kammern, durch welche bisher die Flamme zur Esse gegangen war, strömen. Beide nehmen nun die Wärme der Steine auf und vereinigen sich beim Eintritt in den Ofen zu intensiver Verbrennung. Die Flamme geht nunmehr auch in umgekehrter Richtung als zuvor durch den Ofen und findet, nachdem sie ihre Arbeit geleistet, an der entgegengesetzten Seite des Ofens wiederum zwei Regeneratoren vor, durch welche sie unter Abgabe ihrer Ueberhitze zur Esse strömt. Sind nunmehr diese Regeneratoren heiß genug geworden, und die ersten gleichzeitig abgekühlt, so dreht man die Richtung des Gasstromes abermals um, läßt durch die zuletzt erhitzten Regeneratoren Gas und Luft ein- und die Flamme durch die abgekühlten austreten u. s. f. Dadurch wird bis zu einem gewissen Maximum, bei welchem die mehr erzeugte Wärme das Gleichgewicht mit der durch Ausstrahlung u. s. w. verlorenen Wärme hält, eine

immer höhere Temperatur erzeugt und diese erhält sich dann in geringen Gränzen schwankend auf einem für den angegebenen Zweck ausreichenden Grade.

Die Flußstahlbereitung in Flammöfen, die mit solchen Regeneratoren versehen sind, wird derart ausgeführt, daß in das zuerst eingeschmolzene von seiner Schlackendecke befreite Roheisenbad Schmiedeisenabfälle eingesetzt werden, bis eine Probe den verlangten Kohlungsgrad ergiebt. Auch hier pflegt man indessen gewöhnlich etwas weiter zu gehen und durch einen schließlichen Zusatz von Spiegeleisen die Kohlung wieder zu vergrößern. Hin und wieder hat man auch durch Zusatz sehr reiner Eisenerze (Eisenglanz, Magneteisenstein) die Entkohlung zu beschleunigen versucht.

Während die Erzeugung des Flußstahles ebensowohl Entkohlung von Roheisen, als Kohlung von Schmiedeisen genannt werden kann, so giebt es noch einen Weg Stahl darzustellen, der darauf gegründet ist, daß dem Schmiedeisen Kohlenstoff als solcher durch Holzkohle zugeführt wird. Einen solchen Stahl nennt man Kohlungsstahl. Entweder erhitzt man zu diesem Zwecke das Schmiedeisen mit Holzkohlenpulver in Tiegeln bis zur Schmelzung des Produktes, oder man treibt die Erhitzung nur bis zu einer Temperatur[13]), bei welcher das erzeugte Produkt noch ungeschmolzen bleibt und daher die Form des Materialeisens beibehält. Die erste Art wendet man selten an. Der berühmte ächte Damaszenerstahl wird auf diese Weise hergestellt.

Man schmilzt Stückchen jenes durch die Rennarbeit erzeugten in Stäbe ausgereckten Schmiedeisens mit Pflanzen- (namentlich Winden-) Blättern zusammen. Diese verkohlen und man erhält in dem unvollkommen geflossenen, daher ungleichförmig gekohlten Produkte jenen schönen Stahl, der der Reinheit der Erze und des Mittelproduktes seine vorzügliche Festigkeit und Elastizität zu verdanken hat und in Folge des verschiedenen Ver-

haltens der in einander geflossenen, ungleich gekohlten Theile beim Aetzen die prächtigen Figuren giebt, an denen sich eine ächte Klinge jener Art leicht erkennen läßt.

Die zweite Methode der Kohlung des Stahles, bei welcher nicht Schmelzung stattfindet, giebt den Cementstahl. Man erhitzt Schmiedeisenstäbe, welche in Holzkohlenklein gepackt sind, in großen thönernen Kästen mehrere Tage hindurch. Diese Kästen stehen zu je zweien über einer Steinkohlenfeuerung, deren Flamme sie in zahlreichen Canälen umspült. Das Eisen kohlt sich dann von außen nach innen höher und höher. Ist die hinreichende Kohlenstoffaufnahme bis zum Kerne vorgedrungen, was man an einem herausgenommenen Probestab untersucht, so läßt man abkühlen und findet einen Stahl vor, welcher wegen der seine Oberfläche bedeckenden Blasen und der unvermeidlichen Verschiedenartigkeit des Kohlungsgrades in seinen einzelnen Theilen zwar ohne Weiteres kaum anwendbar ist, welcher aber ein seiner Reinheit wegen vorzügliches Material für die Weiterverarbeitung abgiebt.

Es möge bei dieser Gelegenheit Erwähnung finden, daß die Wirkung der meisten sogenannten Stahlbildungs- oder Härtemittel, durch welche man Instrumente aus weichem Eisen oberflächlich verstählt, auf der Aufnahme von Kohlenstoff bei der Erhitzung mit kohlenstoffhaltigen Substanzen unterhalb der Schmelztemperatur des Stahls beruht. Diese Mittel bestehen meist aus organischen Substanzen, wie Horntheilen, geraspelten Klauen u. s. w. oder aus Blutlaugensalz.[14])

Die sämmtlichen Produkte, wie sie aus den verschiedenen bisher geschilderten Prozessen der Schmiedeisen- und Stahlbildung hervorgehen, sind noch nicht fertige Handelswaaren: Die Schirbeln des bei Holzkohle gefrischten Deuls und die aus den Puddelluppen hergestellten Kolben, Brammen und Rohstäbe enthalten noch

ziemlich viel Schlacke eingemengt, welche ihre Haltbarkeit sehr beeinträchtigt. Der flüssige Bessemerstahl und aller Flußstahl trennt sich, wenn man ihn nach seiner Vollendung ruhig einige Zeit stehen läßt, zwar gut von der gleichfalls flüssigen Schlacke, so daß man ihn ohne Schwierigkeit in eiserne Formen gießen und ihm dadurch jede beliebige Form geben kann, aber er bedarf noch eines kräftigen Hämmerns (des Dichthämmerns), um zahlreiche Blasen, die sich in Folge fortdauernder Gasentwickelung in seinem Innern befinden, zu zerstören. Der Cementstahl und in gewissem Grade auch der flüssige Kohlungsstahl sind zu ungleichmäßig, um ohne weitere Bearbeitung benutzt werden zu können.

Es bedürfen daher also alle Eisen- oder Stahlsorten zuvörderst der Verfeinerungsarbeiten, und diese bestehen entweder in dem Schweißen (beim Stahl Gärben genannt) oder dem Umschmelzen, von denen ersteres für Schmiedeisen und Stahl, letzteres nur für Stahl anwendbar ist. Da nun für das Eisen und den Stahl, welche Handelswaare sein sollen, eine ganz bestimmte Gestalt verlangt zu werden pflegt, so verbindet man in der Regel diese Verbesserungsarbeiten mit Arbeiten zur Formgebung.

Erhitzt man jene schlackenhaltigen Eisen- oder Stahlstücke, welche als Rohprodukte aus den Umwandlungsprozessen des Roheisens hervorgehen, bis zur Weißglut, so gelangt die eingeschlossene Schlacke in Fluß, während das Metall teigig wird. In diesem Zustande lassen sich nun durch Hämmern oder Walzen mehrere solcher Stücke innig vereinigen, zusammenschweißen, während gleichzeitig die Schlacke hinausgepreßt wird. Durch Wiederholung der Schweißarbeit läßt sich daher das Eisen immer gleichmäßiger und immer schlackenfreier herstellen, auch lassen sich verschiedenartige Eisensorten z. B. weiches Eisen und Stahl in beliebiger Weise mit einander vereinigen. Indessen ist

bei der Schweißarbeit stets zu berücksichtigen, daß die eingeschlossene Schlacke und das sich durch Einwirkung der Luft auf das erhitzte Eisen bildende Oxydoxydul (Hammerschlag, Walzsinter) entkohlend einwirken und daß man daher ein niedriger gekohltes Produkt erhält. Für weiches Eisen hat dies meistentheils keinen nachtheiligen Einfluß, beim Stahl kann es dagegen sehr unerwünscht sein, und man wird in letztrem Falle oft genöthigt ein höher gekohltes Material anzuwenden, oder die Oberfläche gegen die Einwirkung der Luft durch einen Ueberzug aus Thon u. dgl. m. zu schützen.

Die Schweißarbeit wird selten in Heerden, welche mit Holzkohlen oder Koks geheizt werden, gewöhnlich in Flammöfen mit Steinkohlenfeuerung ausgeführt. Diese Flammöfen gleichen im Allgemeinen den Puddelöfen, haben aber einen aus Sand gebildeten Heerd und der Fuchs schließt sich an diesen ohne Trennung durch eine Brücke an; auch besitzen sie meist mehrere Arbeitsthüren und häufig viel größere Dimensionen. Das zu schweißende Eisen wird zuerst in gleich langen Stücken aufeinandergelegt, packetirt wie man technisch sagt. Jedes Packet, dessen Größe und Querschnitt wesentlich von der Schwere und Form des zu fabrizirenden fertigen Eisens abhängig ist, umwindet man mit schwachen Eisenbändern oder Draht, und schiebt es dann vermittelst einer eisernen Schaufel an die kühlste Stelle des Schweißofens d. h. an den Fuchs. Beim Einsetzen des zweiten Packetes rückt das erste näher an die Feuerbrücke u. s. f., bis der Ofen gefüllt ist. In dieser Zeit muß das erste hinreichend heiß geworden sein. Man erkennt die richtige Hitze an der Flüssigkeit der Schlacke, welche sich aus dem an der Oberfläche oxydirten Eisen und dem Sande des Bodens gebildet hat, und welche gleich Fettblasen auf einer Suppe sich auf dem Packete entlang zieht.

Um aus den schweißwarm gemachten Packeten sodann die

Schlacke auszudrücken, um die einzelnen Eisenstücke zu vereinigen und dem Ganzen die gewünschte Form zu geben, wendet man Hämmer oder Walzen an, vereinigt auch beide in der Weise, daß man das Packet zuerst durch Hämmern schweißt und nachher durch Walzen formt.

Die Form, in welcher das geschweißte Eisen und der Stahl meist in den Handel kommt, ist die des Stabes, des Bleches und des Drahtes.

Die Stäbe haben theils den Querschnitt einer einfachen Figur, am häufigsten einen quadratischen, oblongen oder kreisförmigen, und werden dann Stabeisen im engeren Sinne des Wortes oder Handelseisen (je nach dem größeren oder kleineren Querschnitt auch Grob- und Feineisen) genannt, theils ist der Querschnitt ein complicirterer, wie bei den Eisenbahnschienen, den T, Z, U, E-förmigen Eisen und dann führen die Stäbe den Namen Façoneisen. Bleche nennt man diejenigen Eisensorten, welche im Verhältniß zu ihrer Breite und Länge eine geringe Dicke haben, und unterscheidet nach der Größe der letzteren feine oder Schwarzbleche, mittlere oder Kesselbleche, starke oder Panzerbleche.

Während man noch im Anfang dieses Jahrhunderts Stäbe und Bleche fast nur durch Bearbeitung unter schweren Hämmern herstellte und deßhalb nicht im Stande war große und gewichtige Stücke, sowie complicirte Formen zu Preisen zu fabriciren, welche eine allgemeinere Verwendung ermöglichten, so ist jetzt durch Benutzung der Walzwerke kaum eine Größe und Form noch unerreichbar geblieben. Ein solches Walzwerk besteht aus je zwei schweren Ständern, welche die Lager für die Zapfen der Walzen tragen. Die letztren liegen meist zu zweien übereinander und sind cylindrische aus Gußeisen angefertigte Körper, welche sich in entgegen-

gesetzter Richtung umdrehen. Bringt man zwischen zwei solche sich drehende Körper irgend einen Gegenstand, so können verschiedene Fälle eintreten: Ist die Reibung, welche entsteht, wenn der betreffende Gegenstand die Oberfläche der beiden Walzen berührt, hinreichend groß, um die rückwirkende Festigkeit desselben zu überwinden, so wird er, wenn er spröde ist, zerbrochen oder zerdrückt, wenn er dagegen dehnbar ist, ausgereckt, indem sein ursprünglicher Querschnitt bis zu demjenigen des kleinsten Zwischenraums zwischen beiden Walzen zusammengedrückt und seine Länge entsprechend vergrößert wird. Ist die Reibung nicht genügend, so wird der Gegenstand überhaupt gar nicht von den Walzen gefaßt, sondern schleift an denselben. Dies Letztere tritt jedesmal ein, wenn der Querschnitt des zu walzenden Körpers ein bestimmtes Verhältniß gegen den Durchmesser der Walzen überschreitet. Daher kann man ein starkes Stück Eisen nicht auf einmal auf einen geringen Querschnitt walzen, sondern muß unter stufenweiser Verkleinerung des Zwischenraumes zwischen den Walzen bei mehrmaligem Durchgang den Querschnitt allmälig auf das richtige Maß führen.

Hat man es nun mit einem Querschnitte zu thun, bei welchem, wie z. B. am Bleche, zwei Begränzungs-Flächen bedeutend ausgedehnt gegen die vier anderen sind, so läßt sich die Verringerung des Zwischenraumes leicht dadurch erreichen, daß man die anfänglich weit von einander entfernten Walzen nach jedem Durchgang des Eisens mehr einander nähert, was durch Anziehen von Stellschrauben geschieht. Da sich indessen das Eisen bei seiner Streckung stets, wenn auch nur wenig in die Breite ausdehnt, diese Ausdehnung aber in keiner Weise begränzt ist, so läßt sich nicht vermeiden, daß bei der angegebenen Art des Walzens die Kanten zackig, rissig und unganz werden. Bei Blechen pflegt

man diesen Uebelstand wieder dadurch auszugleichen, daß man ihre Ränder nachher mit großen, durch Maschinen bewegten Scheeren gerade schneidet. Bei Stäben ist dies nicht ausführbar, man muß vielmehr auf einen überall gleichen und von allen Seiten scharf begränzten Querschnitt hinarbeiten. Um dies zu erreichen, dreht man Einschnitte (Kaliber) in die cylindrischen Walzenkörper, legt viele derselben in der Weise nebeneinander, daß jeder folgende einen kleineren Querschnitt, als der vorhergehende hat, und läßt das Eisen der Reihe nach durch diese Kaliber gehen, von denen das erste etwas kleiner als der Querschnitt des schweißwarmen Packets ist, während das letzte dem verlangten Querschnitt des fertigen Stabes entspricht.[15])

Ist schon die Herstellung solcher Reihen von Kalibern schwierig, wenn das Eisen einen einfachen und regelmäßigen Querschnitt erhalten soll, so erfordert die Kalibrirung derjenigen Walzen, welche für die Herstellung complicirterer Profile z. B. des Winkeleisens, Doppel-T-Eisens und Fenstereisens, der Eisenbahnschienen u. s. w. dienen, große Kenntnisse und Vorsicht, um eine richtige Vertheilung des Druckes, entsprechende Abnahmeverhältnisse zu erzielen, um zu vermeiden, daß das Eisen an einzelnen Stellen mehr gestreckt werde als an anderen, stumpfe Kanten annehme und rauhe Oberflächen zeige. Die Schwierigkeiten wachsen noch, wenn gleichzeitig bei einem verwickelten Querschnitte verschiedene Eisensorten mit einander vereinigt werden sollen. Dies kommt z. B. bei Eisenbahnschienen vor, welche eine harte Lauffläche und einen nachgiebigen Untertheil erhalten sollen. Zu diesem Zweck macht man den Kopf des Packetes aus Stahl oder einem diesem sich annähernden, Feinkorn genannten kohlenstoffreichen Eisen und den Fuß aus weichem (sehnigem) Schmiedeeisen.

Obwohl im Allgemeinen die Schweißung eng mit der Formgebung verbunden wird, so pflegt man doch die ersten Kaliber, durch welche das Packet geht, vorzüglich zum Schweißen zu benutzen und giebt ihnen deßhalb meist einen hiefür sehr wirksamen Querschnitt von der Form einer aus vier Kreisbogen zusammengesetzten Figur (Spitzbogenkaliber).

Die dritte Form, in welcher das Eisen in den Handel kommt, ist der Draht. Derselbe kann zwar als ein Rundeisen von geringem Querschnitt und großer Länge betrachtet werden, läßt sich aber nur bis zu gewissen Dimensionen durch kaliberirte Walzen herstellen. Von da ab muß man den Querschnitt durch die Zieharbeit verkleinern, welche in folgender Weise ausgeführt wird: Man wickelt das vorgewalzte Drahteisen auf eine Trommel, spitzt das eine Ende zu, führt dasselbe durch eine konische Oeffnung, welche sich neben zahlreichen anderen in einer verstählten Platte befindet, und befestigt das durchgeführte Ende auf einer zweiten, um eine vertikale Axe drehbare Trommel. Wird diese letztere nun in Umdrehung versetzt, so wickelt sie den Draht um sich auf, und zieht ihn durch die konische Oeffnung hindurch, auf deren Querschnitt der ursprüngliche Querschnitt des Drahteisens demgemäß verringert wird. Dies wird nun mit Benutzung immer kleinerer Oeffnungen so oft wiederholt, bis der gewünschte Querschnitt erreicht ist. Bei der ganzen Manipulation befindet sich das Eisen im kalten Zustande; es wird in Folge dessen schnell hart und spröde und man muß ihm von Zeit zu Zeit seine Geschmeidigkeit durch Ausglühen wiedergeben. Das Glühen geschieht in großen, verschlossenen eisernen Töpfen, welche von außen erhitzt werden. Trotz des Verschlusses bildet sich auf der Oberfläche des Drahtes Eisenoxydoxydul. Dasselbe wird durch Beizen mit verdünnter Säure entfernt, dann wird die überflüs-

sige Säure abgewaschen und durch Kalkwasser neutralisirt und nun erst kann das Ziehen fortgesetzt werden. Ohne diese Vorsicht würde man nicht die im Handel verlangte glatte und glänzende Oberfläche des Drahtes erhalten. Zuweilen läßt man vor dem letzten Zuge den Draht noch durch gährende Flüssigkeiten, Urin, Hefe u. dgl. mehr gehen, was das blanke Aussehen vermehrt, oder giebt ihm durch eine Kupfervitriollösung eine rothe Oberfläche.

Der zweite, indessen bisher nur für Stahl anwendbare Weg der Verfeinerung des Rohproduktes, ist die Umschmelzarbeit. Das aus dieser Arbeit hervorgehende Handelsprodukt heißt Gußstahl.[16])

Das Umschmelzen geschieht in Tiegeln, welche aus einer Mischung von gebranntem und ungebranntem feuerfesten Thone und Graphit hergestellt werden. Diese Tiegel werden mit Stahlbrocken gefüllt, stark vorgewärmt und dann einzeln, zu zweien oder vieren in kleine schachtförmige Oefen gestellt, deren Boden von einem Roste gebildet wird. Hier werden sie von Koks umgeben und mit denselben überdeckt und bleiben viele Stunden hindurch einer äußerst hohen Temperatur ausgesetzt. Zuweilen stellt man die Tiegel auch in einen längeren horizontalen Canal, dessen beide Enden mit Regeneratoren in Verbindung stehen und der durch Kohlenoxydgasfeuerung geheizt wird. Als Material kann jede Art von Rohstahl angewendet werden, sei sie durch Heerdfrischen, Puddeln, Bessemern, durch Cementation oder auf anderem Wege erzeugt, und man kann noch durch Zusatz von Holzkohle oder Schmiedeisen einen Einfluß auf den Kohlungsgrad des Gußstahles ausüben.

Ist der Stahl hinreichend dünnflüssig, was man mit einem Drahte untersucht, so hebt man den Tiegel aus dem Ofen und gießt

seinen Inhalt in die bereit stehende Form. Das Ausheben ist wegen der großen Hitze, welcher die Arbeiter ausgesetzt sind, eine sehr lästige Arbeit, am schlimmsten bei den schachtförmigen Oefen, etwas leichter bei den canalartigen Schmelzapparaten. Das Ausgießen erfordert große Geschicklichkeit, sobald mehrere Tiegelfüllungen vereinigt werden sollen. Es darf nämlich der Strom nie abbrechen und der nächste Tiegel muß bereits zu fließen anfangen, ehe der vorhergehende ganz erschöpft ist. Bei sehr großen Güssen sammelt man den Stahl erst in einer Pfanne und läßt ihn nach Oeffnung eines im Boden befindlichen Ventils in die Form fließen, ein Verfahren, welches auch bei der Flußstahlbereitung Anwendung findet. Nur selten bringt man den Gußstahl durch den Guß sofort in die Gestalt des fertigen Gebrauchsgegenstandes. Es geschieht dies hauptsächlich nur bei Glocken, Eisenbahnrädern und kleineren Maschinentheilen; der Regel nach werden entsprechende prismatische Blöcke in gußeisernen Formen erzeugt, welche noch warm durch kräftige Hämmer oder Walzen verdichtet werden und dann Handelswaare sind, oder auf dem Werke selbst zu Schienen, Radreifen, Axen u. s. w. ausgewalzt werden.

Der größte Theil des Stahls verläßt das Hüttenwerk im ungehärteten Zustande, nur hin und wieder verlangt ihn der Fabrikant bereits gehärtet. Das Härten geschieht auf folgende Weise: Das Stahlstück oder der daraus hergestellte Gegenstand wird erhitzt und dann schnell abgekühlt. Je kohlenstoffreicher der Stahl ist, je heißer er gemacht worden und je schneller die Abkühlung erfolgt, um so höher fällt der Härtegrad aus, welcher leicht so weit getrieben werden kann, daß der Stahl Glas ritzt. Die Erhitzung des Stahls behufs des Härtens geschieht gewöhnlich in einem Holzkohlenfeuer, in welchem das Kohlenoxyd-

gas jede Einwirkung der Luft abhält. Die plötzliche Abkühlung wird meist durch Eintauchen des erhitzten Gegenstandes in Wasser herbeigeführt; je kälter letztres ist, um so größer fällt die Härte aus. Zur Herbeiführung geringerer Härtegrade benutzt man Oel und flüssiges Fett, welche die Wärme schlechter leiten als Wasser und daher keine so schnelle Abkühlung bewirken. Trotz der Anwendung angemessener Härteflüssigkeiten ist es indessen doch äußerst schwierig einen ganz bestimmten Härtegrad zu erhalten und man verfährt daher in der Regel so, daß man den Stahl auf eine möglichst hohe Härte bringt und diese wieder durch allmäliges Erhitzen mildert. Man nennt diese letztre Arbeit das Nachlassen oder Anlassen. Je höher man hierbei die Temperatur steigert, um so weicher wird der Stahl und es ist nicht schwierig ihn wieder in den Zustand, welchen er vor der Härtung hatte, zurückzuführen. Bei der Erhitzung überzieht sich die blanke Oberfläche des Stahls mit einer sehr dünnen Oxydhaut, welche die Lichtstrahlen bricht und durch Interferenz derselben je nach ihrer Dicke in verschiedenen Farben erscheint. Von Gelb anfangend durchläuft sie alle Nüancen des Orange, Roth, Violett und Blau und diese Farben geben ein ausgezeichnetes und sehr scharfes Mittel an die Hand, die jedesmalige Härte des Stahles beurtheilen zu können. Man weiß z. B., daß der Stahl bei geringer Erhitzung, bei welcher er die gelbe Farbe zeigt, also noch am härtesten ist, am geeignetsten für Rasirmesser, bei rother Farbe am passendsten für Tischmesser, bei hellblauer für Uhrfedern, bei dunkelblauer für Handsägen ist.

Diese und ähnliche Arbeiten stehen bereits an der Gränze des Eisenhüttenwesens und der Eisenverarbeitung und es ist schwer zu bestimmen, wo das erstere aufhört und die letztere beginnt, um so mehr, als auch die gewöhnlich angenommene Unterscheidung, daß das Hüttenwesen Rohprodukte erzeugt, die

Fabrikation Gebrauchsgegenstände darstellt nicht zutrifft; denn die Eisenbahnschienen, deren Anfertigung doch gewiß in das Gebiet des Hüttenwesens fällt, sind bereits Gebrauchsgegenstände. Hält man indessen die Gränze aufrecht, welche der Verkehr in dieser Beziehung festgestellt hat, so ergeben sich für die Bedeutung des Eisenhüttenwesens in den verschiedenen Ländern folgende Verhältnisse:

Die jährliche Produktion aller Länder der Erde beläuft sich gegenwärtig auf etwa 190—200 Millionen Centner schmiedbares Eisen (Schmiedeisen und Stahl). Hiervon kommt auf England beinahe die Hälfte; den zweiten Rang nehmen die vereinigten Staaten von Nordamerika und Frankreich (jedes Land mit etwa 16—17 Millionen Centner) ein, dann folgt sehr nahe Preußen mit 15½ Millionen Centner, und in größerem Abstande kommen Belgien mit 8, Rußland mit 7, Oesterreich mit 4, Schweden mit 3 Millionen Centner. Etwas anders stellt sich die Reihenfolge des Eisenverbrauches auf den Kopf der Bevölkerung. Im Durchschnitt fallen auf jeden Bewohner der Erde[17]) jährlich noch nicht ganz 10 Kilogramme schmiedbaren Eisens, aber dieser Verbrauch ist sehr ungleich vertheilt. In England ist er auf 95 Kil. gestiegen, in Nordamerika beziffert er sich erst auf 50 Kil., in Preußen nur auf 37, in Frankreich auf 35 Kil.[18]) Ebenso ist das Verhältniß zwischen Stahl- und Eisen-Erzeugung und Verbrauch ein sehr verschiedenes. Am meisten Stahl im Verhältniß zur Gesammtproduktion wird in Preußen dargestellt. Ein Bild dieses Verhältnisses geben folgende Zahlen:[19]) Es werden hier in runden Zahlen:

Schmiedeisen in Form von	Stabeisen	.	10,454,000 Ctr.
" " " "	Blech	. .	1,819,000 "
" " " "	Drath	. .	872,000 "
	Zusammen also		13,145,000 "

Stahl (mit verschiedenen Prozessen) 2,447,000 Ctr.

Im Ganzen also schmiedbares Eisen: 15,592,000 Ctr. erzeugt.

Das Verhältniß der durch das Eisenhüttenwesen in den civilisirten Ländern beschäftigten Arbeiter, ist wie sich aus den angegebenen Produktionszahlen erwarten läßt, ein sehr bedeutendes, ein um so bedeutenderes, wenn man bedenkt, eine wie große Zahl von Menschenhänden noch mittelbar durch diesen Industriezweig in Anspruch genommen wird, z. B. also zur Gewinnung der Eisenerze, der Kohlen, des Kalksteins u. s. w., zum Transport aller dieser Materialien zur Hütte und andrerseits der Produkte zum Markte oder in die Stätten zur Weiterverarbeitung. Als Beispiel möge Preußen dienen, wo z. B. im Jahre 1868 das Eisenhüttenwesen ohne Hinzurechnung aller dieser davon abhängigen Arbeitsquellen im Ganzen über 83,000 Menschen beschäftigte, welche gegen 166,000 Familienglieder ernährten.

Alle diese Zahlen würden nichts Auffallendes haben, wenn sich zeigte, daß sie sich mit Zunahme der Bevölkerung in allmälig steigender Linie entwickelt hätten, etwa wie die Produktionsverhältnisse des Ackerbaues, der Viehzucht, ja selbst wie diese der meisten anderen Metalle. Staunenswerth sind aber die Zahlen, wenn man sie vergleicht mit den entsprechenden vor einigen Jahrzehnten oder gar einem Jahrhundert.

Seit 1740 hat sich die Erzeugung des schmiedbaren Eisens in England um mehr als das 200fache vermehrt, in den letzten 40 Jahren versechsfacht. In dem letzgenannten Zeitraum ist in Preußen die Menge des dargestellten Eisens um das Funfzehnfache gestiegen und in den letzten 10 Jahren allein um das $2\frac{1}{2}$ fache.

Im Großen und Ganzen findet sich überall ein inniger

Zusammenhang zwischen der Verwendung mineralischer Brennstoffe und der Vermehrung der Eisenproduktion[20]) und es ist daher erklärlich, daß diejenigen Länder, deren Boden am reichsten mit Steinkohlen gesegnet ist, die schnellste Entwickelung ihrer Eisenindustrie aufzuweisen haben[21]), ja es gehört keine große Sehergabe dazu, um vorauszusagen, daß das in dieser Beziehung von der Natur am meisten begünstigte Land, nämlich Nordamerika, in nicht allzu ferner Zeit an die Spitze aller eisenerzeugenden Länder treten wird.

Anmerkungen.

1) Vergl. Heft 93, IV. Serie der Sammlung wissenschaftlicher Vorträge, S. 10.

2) Vergl. dasselbe S. 41.

3) Vergl. dasselbe S. 8.

4) In Süd-Wales wird die Holzkohle, mit welcher der Frischprozeß ausgeführt wird, aus den dünnen Stämmen des die steileren Abhänge der Berge bedeckenden Strauchwerkes durch Erhitzung in eisernen Retorten vermittelst Steinkohlenfeuerung gewonnen.

5) Die Holzschnitte sind im xylographischen Atelier von Fried. Vieweg und Sohn in Braunschweig angefertigt und gehören dem Handbuch des Verfassers über Eisenhüttenkunde, welches mit Benutzung des englischen Werkes „Metallurgy by Percy" bearbeitet, in dem Verlage derselben Firma erscheint, an.

6) Vergl. S. 9 und 10 dieses Heftes.

7) Durch das Begießen des flüssigen Eisens mit Wasser wird ein Theil des in demselben enthaltenen Schwefels in Form von Schwefelwasserstoff entfernt.

8a) In wie weit die Chlorentwickelnden Stahlpulver durch Bildung von Chlorphosphor wirken, ist noch nicht hinreichend festgestellt.

8b) 2 Meter im weitesten Durchmesser, 2,5—3 Meter hoch.

9) 18—21 Pfund Pressung pro Quadratzoll oder 97—113 Centimeter Quecksilbersäule über den Druck der Atmosphäre.

10) 100 Ctr. ist jetzt gewöhnlich die Füllung einer Birne, obwohl man auch 120, ja 200 Ctr. anwendet, welche höchstens einige Minuten länger zur Entkohlung bedürfen, aber schwieriger zu leiten sind.

11) Vergl. Berg- und Hüttenmännische Zeitung 1869. S. 377 über die Nomenklatur des Stahls.

12) Vergl. IV. Serie der Sammlung wissenschaftlicher Vorträge, Heft 93, S. 8.

13) Kupferschmelzhitze.

14) Kaliumeisencyanur, eine Verbindung des Kaliums und Eisens mit dem aus Stickstoff und Kohlenstoff bestehenden Cyan.

15) Der Querschnitt ist nur um so viel größer, als das Eisen sich bei der Abkühlung zusammenzieht (schrumpft oder schwindet).

16) Es wird fälschlicher Weise nicht selten jeder geschmolzene Stahl z. B. Bessemerflußstahl, Gußstahl genannt und dadurch einem Rohprodukt der Name gegeben, welcher richtig angewendet immer nur das verfeinerte Produkt bezeichnen sollte.

17) 1000 Millionen Menschen angenommen.

18) Nach Hewitt und anderen statistischen Quellen.

19) Nach amtlichen Quellen für das Jahr 1868.

20) 1837 wurden in Preußen 68,2 % des Stabeisens bei Holzkohlen 1861 nur noch 8,3 % mit diesem Brennmaterial erzeugt.

21) Die Einführung des Hochofenbetriebes mit Koks oder rohen Steinkohlen und des Puddelns sind daher auch die wesentlichsten Elemente der Entwicklung gewesen. Obwohl Versuche mit Steinkohlen im Hochofen in England bereits zu Anfang des 17. Jahrhunderts durch Dud Dudley gemacht wurden, beginnt doch der Kokshochofenbetrieb sich erst seit 1735 (wo ihn Darby zu Colebrook-Dale einführte) Bahn zu brechen.

1796 wurde der erste Kokshochofen auf dem Continent von Europa, welcher von dem damaligen Bauinspektor Wedding, dem Großvater des Verfassers erbaut worden war, zu Gleiwitz in Preußisch Oberschlesien angeblasen. 1784 wurde das Puddeln von Cort in England erfunden und eingeführt. Auf dem Continent ging das Hüttenwerk Creusot in Frankreich (vor 1818) damit voran und erst 1824 entstand der erste Puddelofen in Preußen zu Rasselstein (am Rhein) durch Remy.

Druck von Gebr. Unger (Th. Grimm) in Berlin, Friedrichsstr. 24.